CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS NO INVERNO DE 2004 EM JUIZ DE FORA – MG

Thiago Oliveira SANTOS [1]
Eduardo Oliveira SANTOS [2]
Daniel MENDES[3]
Luiz Alberto MARTINS[4]

RESUMO

Por mais completos que sejam, apenas o conhecimento dos fatores estáticos ou geográficos que atuam na caracterização climática, não são suficientes para a compreensão do clima de uma determinada região. O conhecimento dos sistemas atmosféricos bem como das perturbações associadas, em consonância com os elementos estáticos, são fundamentais para uma completa caracterização do clima. O estudo das variáveis meteorológicas, o tempo de atuação das massas de ar e dos fenômenos meteorológicos são aspectos relevantes na caracterização dos sistemas produtores de tempo em uma dada área. O presente trabalho, elaborado pelo Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA) da UFJF, buscou acompanhar os sistemas atmosféricos que atuaram no município de Juiz de Fora no inverno de 2004, quando se registrou temperaturas mínimas com valores significativamente abaixo da normal climatológica para essa estação do ano. Assim, foi realizada uma análise de parâmetros meteorológicos específicos, como o tempo de permanência, intensidade e freqüência dos sistemas produtores do tempo. Foi realizado um estudo dos fenômenos meteorológicos eventualmente ocorridos sobre a atuação de cada massa de ar, como os nevoeiros e inversões térmicas, caracterizando-as quanto à freqüência e a intensidade. Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados o banco de dados do LabCAA, cartas sinóticas de pressão ao nível médio do mar disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil além de informações e imagens do satélite Góes fornecidos pelo CPTEC - INPE. Logo, foi desenvolvido a caracterização dos sistemas atmosféricos que atuaram nos três meses representativos do inverno: junho, julho e agosto. O sistema atmosférico que apresentou o maior tempo de permanência horária (44%) na cidade foi a massa de ar Tropical Atlântica (mTa), responsável pela maior freqüência tanto de nevoeiros como de inversões térmicas. Quanto as mínimas a ação da Massa Polar (mPa) foi determinante.

INTRODUÇÃO

A Geografia Física, de forma específica, focaliza os atributos espaciais dos sistemas naturais particularmente na medida em que se relacionam com a humanidade (Elhai, 1968). O estudo dos geossistemas é o objetivo fundamental da Geografia Física (Christofoletti, 1981), pois ele irá fornecer os conhecimentos sobre o funcionamento da natureza, permitindo dessa forma o planejamento para o uso racional do espaço geográfico.

Por mais completos que sejam, apenas o conhecimento dos fatores estáticos ou geográficos que atuam na caracterização climática, não são suficientes para a compreensão do clima de uma determinada região. O conhecimento dos sistemas atmosféricos bem como das

[1] Universidade Federal de Juiz de Fora, Monitor das disciplinas de Meteorologia e Climatologia do curso de Geografia, climasantos2004@yahoo.com.br
[2] Universidade Federal de Juiz de Fora, Bolsista de Treinamento Profissional do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental, climasantosjfmg@yahoo.com.br
[3] Universidade Federal de Juiz de Fora, Bolsista de Iniciação Científica, budyko@pop.com.br
[4] Universidade Federal de Juiz de Fora, Prof. Titular do Departamento de Geociências, lalberto@artnet.com.br

perturbações associadas, em consonância com os elementos estáticos, são fundamentais para uma completa caracterização do clima. O estudo das variáveis meteorológicas, o tempo de atuação das massas de ar e dos fenômenos meteorológicos são aspectos relevantes na caracterização dos sistemas produtores de tempo em uma dada área.

MASSAS DE AR E CIRCULAÇÃO GERAL

Muitos são os estudos relacionados à circulação atmosférica baseada na definição dos anticiclones polares e tropicais além da circulação das massas de ar, onde se faz mister aos trabalhos realizados por Edmon Nimer, Monteiro e Serra.

Nimer (1966) buscou classificar as massas de ar atuantes no Brasil e descreve-las, bem como caracterizou toda a circulação normal e secundária de verão, outono, inverno e primavera. Ainda em 1979, complementou seus estudos do clima do Brasil, analisando, em cada uma das regiões brasileiras, a atuação das massas de ar durante as estações do ano, definindo a variabilidade de alguns elementos climáticos como a temperatura e a pluviosidade.

Monteiro desenvolveu trabalhos em climatologia, de caráter regional, como “A frente polar atlântica e as chuvas de inverno da fachada sul oriental do Brasil” em 1969 e “A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo” em 1973. Neste último trabalho o autor propôs uma classificação climática para o estado de São Paulo.

Serra em 1975, no tocante ao hemisfério sul, trata da climatologia da América do Sul, baseado nos centros de ação e atuação das massas de ar. Segundo este autor, o continente sul-americano, devido a sua posição em grande parte na zona tropical e devido sua forma triangular e relativamente estreita, quando comparada ao continente Asiático, e a pequena extensão situada na faixa extra-tropical, sofre efeitos de uma circulação atmosférica comandada, em sua maioria, pelos centros de altas pressões de origem marítima.

Astronomicamente, o inverno no hemisfério sul inicia no dia 22 de junho, quando a declinação do disco solar é de + 23° 27’, onde o centro deste astro se encontra a 23° 27’ abaixo do plano do horizonte, no pólo sul, e a igual ângulo acima desse plano no pólo norte. O fotoperíodo é inferior a 12 horas em todo hemisfério austral, onde se verifica o menor valor anual em cada latitude.

Nessa faixa latitudinal o Sol culmina zenitalmente duas vezes no ano, rigorosamente até o Trópico de Capricórnio, o que marca a aproximação da estação do verão e ao período das maiores quantidades de precipitações e intensidade do fluxo de radiação solar, caracterizado pelas maiores temperaturas anuais. Ao afastar-se relativamente do zênite a partir do Equador em direção ao hemisfério norte inicia a época de menor intensidade da radiação solar, marcando o inicio das estações do outono-inverno, quando ocorre os menores valores de temperatura no hemisfério meridional.

Segundo Varejão (2001) o deslocamento das massas de ar na América do Sul e em suas proximidades depende, fundamentalmente da posição e da intensidade dos centros anticiclônicos do sul do Atlântico, do Pacifico e da Antártica. A posição, a configuração e a intensidade desses núcleos de alta pressão estão constantemente oscilando, atendendo as imposições do balanço energético que, em última instância, condiciona toda a circulação da atmosfera, incluindo fenômenos relacionados à Oscilação-Sul.

A atmosfera estimula o oceano de várias formas: transferindo-lhe energia cinética através dos ventos, afetando no fluxo de radiação à superfície do mar devido às variações na nebulosidade e alterando a taxa de evaporação que depende dos demais fatores. O oceano por sua vez cede calor sensível e latente para a atmosfera além de partículas de sais

solúveis que correspondem a importantes elementos na gênese das nuvens. Anomalias térmicas à superfície do mar (TSM) podem atuar de duas maneiras; causando mudanças no campo da pressão atmosférica à superfície as quais podem alterar significativamente a própria circulação geral da atmosfera e simultaneamente modificar o fluxo vertical turbulento de vapor d'água provocando mudanças na nebulosidade e no balanço de energia. A atmosfera, por ser menos densa, reage mais rapidamente às condições térmicas impostas pelo oceano subjacente. Este estado térmico inicial do oceano contém a maior parte da informação acerca da futura evolução do sistema oceano-atmosfera e, nesse sentido, constitui a "memória desse sistema" (Sarachik, 1992; Philander, 1992).

A América do Sul é bastante influenciada pelos sistemas polares oriundos da região Antártica. A massa polar marítima é originalmente muito estável, em virtude dos processos de subsidência associados, mas, ao deslocar em direção as baixas latitudes, a camada de inversão desaparece e esse sistema torna-se instável. Estão associadas aos anticiclones migratórios que se localizam próximo do continente antártico. Este sistema atua principalmente no oeste dos Andes e no inverno devido a sua maior energia pode transpor a barreira andina e atuar na sua faixa leste, colaborando com a intensificação do ar polar encontrado sobre a Argentina. No inverno, essas massas de ar frio, normalmente alcançam os estados do Sul e do Sudeste do Brasil, e causam quedas bruscas na temperatura. Ao deslocar ao longo da vertente oriental da Cordilheira dos Andes, podem alcançar a região Amazônica e causar o fenômeno conhecido como friagens.

O anticiclone do Atlântico Sul, no inverno, domina quase todo o país, mantendo o tempo bom com nevoeiros pela manhã. O anticiclone próximo à superfície induz a subsidência do ar superior, quente e seco. Quando essa camada de ar descansa sobre uma superfície oceânica, com ar mais úmido e menos aquecido, origina uma camada de inversão entre 500 e 1500 metros de altitude, formando assim duas camadas: uma inferior, fria e úmida, e outra superior, quente e seca. Segundo Vianello (1991), a umidade que se acumula na parte inferior da origem a formação de nuvens baixas de pequena extensão vertical, na qual provocam poucas chuvas, normalmente no litoral, associadas à orografia. No inverno, com o deslocamento da camada de inversão para o continente, a massa tropical marítima passa a ser inteiramente de subsidência, provocando a formação de poucas nuvens, geralmente cúmulos humilis que se desfazem ao anoitecer, predominando céu claro e ausência de chuvas, o que marca a estação seca.

Nesta época a baixa do Chaco acha-se bastante enfraquecida e freqüentemente absorvida pela massa de ar polar, cujo anticiclone, por vezes, leva a frente fria a atingir o litoral do Nordeste para logo a seguir entrar em oclusão, quando a CIT, que se achava no hemisfério norte, muito afastada, desce à costa norte, o que raramente ocorre no inverno (NIMER, 1989). Nesse período a radiação solar incidente é menos intensa que no verão, o que causa menor aquecimento do continente impedindo a formação da zona característica da massa Tropical Continental. O que pode ocorrer, mas não é freqüente, é que se forme na mesma área um pequeno centro de alta pressão.

Quando os sistemas frontais alcançam o Rio Grande do Sul, o anticiclone do Atlântico começa a ser dividido, fragmentando no litoral do Nordeste, onde surge, por vezes, instabilidades tropicais. Nesta época do ano, em virtude do forte gradiente térmico Equador-pólo a ação dos sistemas frontais é decisivo, onde as massas de ar frio atingem latitudes próximas a 10°S, no litoral nordestino. Este sistema pode ter duas trajetórias condicionadas pela orografia: uma a oeste dos Andes e a outra a leste dessa cordilheira. No inverno, com o anticiclone do Pacifico mais próximo do litoral chileno e peruano (região dos niños) com a frente polar pacifica mais ativa, as massas de ar fria percorrem de preferência as zonas a leste da Cordilheira, após transposição na extremidade meridional do continente sul-americano, seguindo o segundo percurso. A descontinuidade térmica provocada pelo choque entre os movimentos advectivos frios da massa polar com os quentes do sistema tropical origina a frente polar atlântica que pode ainda tomar dois caminhos: um continental e outro oceânico condicionado pelo contraste térmico continente-oceano e pela orografia. Seu deslocamento pelo ramo marítimo gera a formação de ondulações ciclônicas

provocadas pela mistura de fluidos com características térmicas e hídricas distintas. Por vezes alcançam o Nordeste ou entram em frontólise no Atlântico Sul, onde são incorporadas ao anticiclone semifixo do Atlântico. Esta situação meteorológica gera maior agitação marítima ao longo da costa do Nordeste e do Sudeste, provocada pelo aumento da diferenciação barométrica entre o continente e o oceano, intensifica os fluxos de umidade em direção a Região Nordeste, que, associado às instabilidades do ar em médios e altos níveis causam elevados valores acumulados de precipitação, principalmente na Zona da Mata Nordestina. Em seu ramo continental esse sistema pode alcançar a região Amazônica, sobretudo quando associado a massas de ar frio de grande magnitude.

Associadas à ondulação da frente polar Atlântica ocorrem às linhas de instabilidade tropical (IT), que representam pequenas depressões barométricas.

Segundo Tubelis (1984) as instabilidades tropicais são alongadas depressões barométricas induzidas em pequenas dorsais. Ocorrem no interior do Brasil, de meados da primavera a meados do outono, exceto no Amazonas onde ocorre durante todo o ano. Sua formação deve-se a diminuição geral da pressão atmosférica causada pelo intenso aquecimento do ar, ocorrendo mais regularmente no verão. O deslocamento desses sistemas perturbados no Brasil, geralmente é de oeste para leste, à frente de uma onda frontal. “Quando a frente polar atlântica inicia seu avanço para o trópico sob a forma de frente fria surge uma instabilidade estendida norte-sul a 6 Km de altitude e caminha para leste, mergulhando no oceano a medida que avança a frente fria, antecipando à mesma pelo menos 24 horas” (NIMER, 1989). Sua identificação nas cartas sinóticas é de difícil precisão em virtude da pequena rede de observações meteorológicas nos trópicos e da pequena extensão das linhas.

O ar em convergência dinâmica provoca a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical podendo resultar em chuvaradas intensas e localizadas. Raramente ocorrem no inverno onde geralmente limita-se ao norte do paralelo de 15°S aproximadamente.

ASPECTOS DA CLIMATOLOGIA DA REGIÃO SUDESTE

A Região Sudeste encontra-se localizada entre as latitudes de 14° a 25°S, em área predominantemente de clima Tropical, marcado pelo domínio das massas de ar polar e atlântica, sobretudo no inverno. Assim, nessa região as correntes perturbadas responsáveis por instabilidades e bruscas mudanças nas condições de tempo correspondem a três sistemas principais: os sistemas frontais, os sistemas perturbados de leste e os sistemas perturbados de oeste, na qual o primeiro se da com maior freqüência no inverno. Trata-se da região brasileira que possui os maiores contrastes climáticos, em razão de uma série de fatores como a maritimidade, contrastando com a continentalidade; montanhas elevadas e depressões intermontanas e baixadas litorâneas, áreas semi-áridas e regiões montanhosas que causam elevadas precipitações a barlavento. O relevo é importante fator na distribuição das temperaturas e das precipitações - intensificando as frentes e as linhas de instabilidades (VIANELLO *et ali*, 1991). Em razão desses fatores, nessa região o clima tropical apresenta três sub-tipos: o tropical típico, encontrado na faixa norte de Minas Gerais, Triângulo Mineiro e norte do Estado de São Paulo; o tropical de altitude encontrado no centro-oeste, sul e Zona da Mata mineira, e no centro-oeste, nordeste e leste do Estado de São Paulo; e o tropical litorâneo encontrado ao longo da faixa costeira que se estende da Baixada Santista até o Espírito Santo. Outros sistemas de grande escala também agem na região como a alta da Bolívia e as correntes de jato.

CLIMATOLOGIA DO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA – MG

A interação combinada de vários elementos e fatores, alguns de ordem local, e outros de ordem global refletirão no clima de um lugar na superfície terrestre. Existem as

características principais que são determinadas pela dinâmica das massas de ar, que por sua vez obedecem ao sistema de circulação geral da atmosfera. Elementos climáticos como a pluviosidade e a temperatura são determinados pelo comportamento dessa dinâmica global das massas de ar, na qual o município sofre a influencia desses sistemas de diferentes formas nas diversas épocas do ano em que atuam. A massa de ar tropical atlântica atua durante quase todo o ano, é igualmente quente, porém dotada de maior umidade que a massa tropical continental, podendo provocar chuvas de convecção. No inverno, sua entrada no continente é bem percebida no município pela circulação dos ventos de quadrante leste e nordeste registrado pela Estação Climatológica Principal. Ainda destaca-se a ação da massa de ar polar atlântica que provoca ventos frios, redução das temperaturas e chuvas mais fracas e demoradas. A latitude tem um papel importante na cidade, pois a localização ainda na faixa tropical, faz com que ela receba a massa polar atlântica com suas propriedades iniciais já enfraquecidas e, apesar do frio, tornam-se incomuns na região, durante o inverno, tanto as chuvas mais fortes quanto às geadas.

O tipo climático predominante, de acordo com a classificação proposta por Köopen e tendo como base os dados coletados pela Estação Climatológica Principal é o Cwb, ou seja, um tipo climático mesotérmico, que apresenta concentração destacada das chuvas no período de verão, e verões brandos, ou moderadamente quentes, tendo, por definição, o seu mês mais quente com temperatura média inferior a 22^{o} C. Se caracteriza assim pela ocorrência de duas estações bem definidas: uma que vai de outubro a abril, onde as temperaturas são mais elevadas e ocorre um maior volume de precipitações, e outro que vai de maio a setembro, que corresponde ao período de inverno e de menor altura pluviométrica.

A direção principal dos ventos de superfície são os provenientes do quadrante norte com exceção aos meses de junho e julho quando a atuação da massa polar atlântica é mais destacada e então a direção dominante dos ventos de superfície passam a ser do quadrante sul.

O município de Juiz de Fora, localizado em 21° 46’ 12’’ LS e 43° 21’ 51’’ LW, climaticamente também é classificado como Tropical de Altitude controlado por massas de ar tropicais e polares. Esta corresponde a uma variação do clima tropical motivado pela influência do fator altimétrico, que, em função do relevo local, com altitudes médias compreendidas entre 600 e 900 metros, ameniza relativamente a temperatura. Resultado dessa variação de altimetria no município, o clima de Juiz de Fora internamente sofre algumas variações importantes, principalmente quanto ao quadro térmico, como enfatiza STAICO (1977): “... inquestionável a possibilidade de enquadramento de várias parcelas da área regional em outros tipos climáticos como, por exemplo, o vale de São Pedro. Seu clima, bem como o do vale superior do Ribeirão das Rosas, deve ser tipificado como mesotérmico, com verões brandos e estação chuvosa no verão”.

Os dados meteorológicos coletados na Estação Climatológica Principal, que faz parte da rede de estações de superfície do 5° Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, não conseguem mostrar uma realidade para toda a área municipal devido a dois fatores essenciais: a urbanização e a altitude. Até a década de 70 do século XX, os dados meteorológicos eram coletados numa estação que funcionava no centro da cidade (Mariano Procópio e Prédio da Agência Central dos Correios e Telégrafos), num local inteiramente influenciado pela ação antrópica e de menor altitude, cerca de 678 metros. A partir de 1972, quando houve a transferência da estação climatológica do centro para o Campus da UFJF, num local de elevada altimetria (940 metros de altitude) e livre da urbanização, a ECP passou a registrar temperaturas mais baixas do que aquelas que ocorriam em outros pontos da cidade, como por exemplo, as do centro urbano.

O crescimento urbano pode trazer como conseqüência mesmo que a médio e longo prazo, alterações significativas com relação a alguns elementos climáticos, sobretudo aos aspectos pluviométricos e térmicos.

Segundo estudo realizado por Santos E.O., Santos T.O. e Mendes D. (2004) já foram identificados episódios de ilha de calor no município de até 12,2 °C. Quanto às alterações na quantidade das chuvas, merece ser destacado o trabalho de Luiz Alberto Martins realizado no período de maio de 1990 a março de 1991, onde foi comprovado um maior índice pluviométrico na área central, além de um maior número de dias de chuva no centro urbano. Santos et ali (2004), confirmou essa tendência, quando constatou um total pluviométrico cerca de 10% superior na área urbana em relação ao entorno rural.

OBJETIVOS E METODOLOGIA

O presente trabalho, elaborado pelo Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA) da UFJF, buscou acompanhar os sistemas atmosféricos que atuaram no município de Juiz de Fora no inverno de 2004, quando se registrou temperaturas mínimas com valores significativamente abaixo da normal climatológica para essa estação do ano. Assim, foi realizada uma análise de parâmetros meteorológicos específicos, como o tempo de permanência, intensidade e freqüência dos sistemas produtores do tempo. Foi realizado um estudo dos fenômenos meteorológicos eventualmente ocorridos sobre a atuação de cada massa de ar, como os nevoeiros e inversões térmicas, caracterizando-as quanto à freqüência e a intensidade.

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados o banco de dados do LabCAA, cartas sinóticas de pressão ao nível médio do mar disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil além de informações e imagens do satélite Góes fornecidos pelo CPTEC - INPE.

Assim, o presente artigo identificou a atuação de 5 sistemas atmosféricos no município durante o inverno de 2004, das quais citam: as frentes frias (FF), a massa de ar polar atlântica (mPa), a massa de ar polar velha (mPv) - esta com característica transitória dos sistemas polares e tropicais - a massa de ar tropical atlântica (mTa) e as linhas de instabilidades tropicais (IT).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização dos sistemas atmosféricos no inverno de 2004 ocorreu sobre padrões globais de normalidade climatológica da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico na sua faixa Equatorial, não havendo indícios da ocorrência do episódio ENOS (El Niño / Oscilação Sul) nesse inverno. Em agosto, porém, os principais Centros de Meteorologia alertavam quanto à possibilidade de ocorrência de um episódio quente nos meses seguintes para o fenômeno ENOS.

Conforme sobre configuração de ausência do fenômeno El Niño, os sistemas atmosféricos que atuaram no inverno de 2004 em Juiz de Fora apresentaram 32 alterações, variando desde 8 até 13 vezes, nos meses de menor e maior alternância, respectivamente. Esse padrão de atuação dos sistemas atmosféricos evidenciou o caráter transitório dos climas quentes das latitudes baixas e o temperado das latitudes médias. Assim, nessa estação do ano foi observada a atuação de cinco sistemas atmosféricos, com destaque para as frentes frias, que obtiveram a maior freqüência, 8 vezes; a massa de ar polar atlântica, a massa de ar polar velha e a massa de ar tropical atlântica atuaram 7 vezes. As linhas de instabilidade atuaram 3 vezes. A tabela abaixo mostra a freqüência de atuação destes sistemas.

Tabela 1. FREQUÊNCIA DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS

FREQUÊNCIA DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS EM JUIZ DE FORA NO INVERNO DE 2004				
	JUNHO	JULHO	AGOSTO	TOTAL
MASSA DE AR POLAR ATLANTICA	3	2	2	7
MASSA DE AR POLAR VELHA	3	3	1	7
MASSA DE AR TROPICAL ATLANTICA	2	3	2	7
FRENTE FRIA	2	4	2	8
LINHAS DE INSTABILIDADE	1	1	1	3
TOTAL	11	13	8	32

Os sistemas perturbados de sul com atividade convectiva mais intensa participaram de duas a quatro vezes nos meses desse inverno, sendo um dos sistemas que mais atuaram no período. As massas de ar polar que seguem na retaguarda desses sistemas apresentaram atuação que variaram de um a três vezes por mês. A massa de ar de subsidência semifixa do atlântico, atuou de duas a três vezes por mês. Já em relação às linhas de instabilidade o sistema foi identificado com máxima atuação de uma vez a cada mês do inverno, período em que este sistema é menos comum na região Centro-Sul do país.

Nos meses de junho e julho a pressão ao nível médio do mar esteve dentro da climatologia do Atlântico Sul. Somente em agosto é que os valores estiveram acima da média histórica. Assim são apresentados na tabela 2 os valores médios de PNMM dos centros de alta pressão dos sistemas atmosféricos que atuaram no município de Juiz de Fora no inverno de 2004.

Tabela 2. INTENSIDADE MÉDIA DO CENTRO DE ALTA PRESSÃO ASSOCIADO (hPa) AO NMM

INTENSIDADE MÉDIA DO CENTRO DE ALTA PRESSÃO ASSOCIADO (hPa) AO NMM INVERNO DE 2004			
	JUNHO	JULHO	AGOSTO
MASSA DE AR POLAR ATLANTICA	1030.0	1036.5	1028.3
MASSA DE AR POLAR VELHA	1029.0	1031.0	1032.0
MASSA DE AR TROPICAL ATLÂNTICA	1029.4	1029.4	1032.5

Com relação à intensidade média dos centros de alta pressão, o centro de circulação migratório da massa de ar polar atlântica foi o que apresentou maior intensidade média, registrado no mês de julho, quando sua atividade, esteve bem acima da média dos demais sistemas atmosféricos que atuaram na cidade, cerca de 1036,5 hPa. Em relação ao próprio sistema, o mês de julho correspondeu ao de maior intensidade da ação dessa massa de ar (mPa), que atuou duas vezes no município, permaneceu por um prolongado período e causou quedas significativas na temperatura do ar, sendo freqüente mínimas abaixo dos 8,0°C (ECP). Em sua segunda atuação no mês de julho, a partir do dia 21, seus valores de isóbara central chegou a alcançar 1044 hPa, revelando a atuação de uma poderosa massa de ar frio. Contudo este intenso sistema não provocou a temperatura mais baixa do inverno em Juiz de Fora, não sendo possível estabelecer uma relação do sistema mais intenso com a temperatura mais baixa. Uma das razões para o acréscimo substancial da atividade anticiclônica deveu-se à circulação anômala dos ventos em superfície da região antártica, de orientação sul-norte que foram mais freqüentes nesse mês, que insuflou ar frio em direção às latitudes baixas. Essa situação meteorológica foi identificada, sobretudo nos dias 16 a 18, 20 a 22 e 27 a 28, quando a massa polar atlântica atuou em Juiz de Fora e sofreu incorporação de outros sistemas polares. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento da atividade anticiclônica em superfície remeteu-se ao próprio padrão de escoamento em 200 hPa a partir do dia 20/07. A maior freqüência de circulações com vorticidades negativa no Atlântico Sul intensificou a atividade subsidente e dispersora de massa próxima à superfície, o que repercutiu no aumento da atividade anticiclônica nesse mês.

Portanto, no inverno a massa de ar polar atlântica foi o sistema que mais modificou suas magnitudes médias quando atuou em Juiz de Fora, variando cerca de 8.2 hPa entre julho e agosto. A elevada amplitude média do centro anticiclônico da massa de ar polar atlântica que atuou em Juiz de Fora, e em agosto apresentou significativo decréscimo, pode ser justificado pela atuação de duas massas de ar de magnitudes bem distintas: uma de moderada intensidade e que atuou no período de 09/08 a 12/08, cujo valor do anticiclone variou entre 1040 a 1030 hPa, e o segundo sistema que atuou nos dois últimos dias do mês e que foi de fraca intensidade, com valores de isóbara central que oscilaram de 1018 a 1024 hPa. Uma das razões que podem justificar tais diferenças na intensidade desses dois sistemas polares que atuaram em Juiz de Fora, pode ser explicado pela dinâmica global: no período que atuou o primeiro sistema - mais intenso – foi identificado o escoamento de massa anômalo em superfície proveniente do continente antártico em direção às baixas latitudes (entre os dias 06/08 e 09/08), atribuindo ainda que, neste mês a superfície do continente antártico apresentou menor desvio negativo da PNMM em relação a julho de 2004, o que incrementou ar relativamente mais frio aos sistemas polares que partiram do Mar de Wedel e deslocaram em direção à América do Sul, justificando assim, sua elevada intensidade.

A atuação do primeiro sistema, que apresentou núcleo de 1040 hPa, causou queda significativa na temperatura, e foi responsável pela temperatura mínima mais baixa dos últimos 30 anos na cidade no dia 11/08, registrado na Estação do Caeté, 2,5°C, localizada na área rural do município. Nas demais estações climatológicas, as temperaturas mínimas foram de 6,0°C e 7,5°C, na Estação Nossa Senhora Aparecida (ENSA) e ECP, respectivamente. Nesse dia, a atuação de uma forte massa de ar polar – que provocou queda acentuada nas temperaturas sobre grande parte do Centro-Sul do país, inclusive geadas na Região Sul - associado à baixa nebulosidade à noite (2/10) favoreceu a radiação noturna, ocasionando arrefecimento acentuado do ar. Durante essa noite o resfriamento do ar na área urbana de Juiz de Fora foi bastante acentuado, declinando 5.5°C e 6.5°C desde às 00:00Z (11/08) até o estabelecimento da mínima na ENSA e na EC, respectivamente. Os quatro dias de permanência do ar frio polar foram intensificados devido à incorporação de uma nova massa de ar polar que se desviou para o oceano na altura do Rio Grande do Sul (10/08) o que favoreceu, em parte, à manutenção das temperaturas baixas, pois fortaleceu a atuação do anticiclone migratório pós-frontal.

A menor intensidade do último sistema, em parte por ser justificada por três razões que não seguem uma ordem hierárquica de importância: o escoamento de altos níveis apontou uma intensificação das correntes de jato a partir da segunda quinzena de agosto, que em ação recíproca com os sistemas frontais em superfície impediram o rápido avanço da massa de ar polar para a Região Sudeste, contribuindo assim para que este sistema permanecesse por mais tempo na região da foz do Rio da Prata, que neste mês apresentou TSM com anomalia positiva, o que pode ter contribuído para a perda das características do ar polar que permaneceu estacionário no litoral das Regiões Sul e Sudeste entre os dias 25/08 e 28/08.

A mPv e a mTa oscilaram um máximo de PNMM de 3,1 hPa em média entre os meses do inverno, aumentando suas intensidades de junho a agosto.

Mesmo a massa de ar quente e seco do atlântico sul apresentando o mesmo número de freqüência de atuação do sistema de origem polar, estes se distinguiram quanto ao tempo de permanência em Juiz de Fora, como mostra a figura 1.

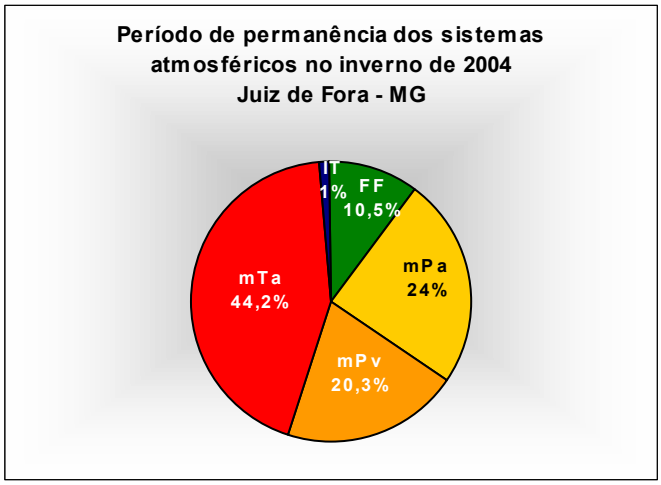

Figura 1. Período de permanência dos sistemas atmosféricos em Juiz de Fora – MG

A massa de ar tropical atlântica esteve atuando em Juiz de Fora cerca de 44% do total horário pesquisado no inverno. A massa de ar polar atlântica correspondeu ao segundo sistema que por mais tempo permaneceu na cidade, 24,0%. A média da temperatura máxima na Estação Climatológica Principal foi de 21,1°C neste inverno, sendo este valor cerca de 1,3°C abaixo da climatologia da cidade em 30 anos (1973-2002).

Reflexo de um longo período de atuação no mês de agosto esse sistema ocasionou temperaturas máximas na região Sudeste, em diversas localidades, com desvios positivos de até 5°C da climatologia, caso este não observado em Juiz de Fora, quando a média da temperatura máxima apresentou desvio negativo de 1,0°C da climatologia de 30 anos. A partir da segunda quinzena de agosto ocorreu o maior período de atuação da mTa no inverno, quando permaneceu na cidade cerca de 15 dias. Esse longo período de atuação levou à ocorrência da temperatura máxima mais elevada do inverno em Juiz de Fora no dia 23/08, registrado na Estação Nossa Senhora Aparecida (ENSA – área urbana), 32.5°C. Na Estação do Caeté (EC – área rural) e na Estação Climatológica Principal (ECP – campus da UFJF), as máximas atingiram 31,5°C e 27,8°C, respectivamente. Durante a manhã o tempo estável e seco (céu claro) proporcionou baixa nebulosidade, o que garantiu prolongado tempo de brilho solar - 10.3 horas (ECP) - o que favoreceu significativo aquecimento do ar. Essa condição do tempo proporcionou aumento da temperatura e o declínio acentuado da umidade relativa do ar, que atingiu 40% às 18:00Z na ECP. À tarde, o aumento de nebulosidade, esteve associado a nuvens em altos níveis da troposfera (cirros), e causou, por vezes, obstrução da radiação solar incidente, aumentando a sensação térmica de calor. O fortalecimento dessa massa de ar quente e seco no continente impediu, em parte, o avanço de duas frentes frias associadas a massas de ar frio de baixa intensidade em direção ao estado de Minas Gerais, no final de agosto, o que favoreceu a manutenção das temperaturas elevadas sobre a atuação da mTa.

Outro aspecto dessa massa de ar quente e seco do atlântico, em Juiz de Fora, relacionado ao seu período de permanência neste inverno, foi que, em relação aos sistemas de curta duração – de 0 a 2 dias – a mTa foi a que apresentou menor percentual de freqüência com relação aos demais sistemas atmosféricos que atuaram, caracterizando que, a maior parte das vezes quando esse sistema atuou, este permaneceu por mais de dois dias. Além disso, essa foi a única massa de ar que permaneceu por mais de dez dias, em 28,6% da sua freqüência. A tabela 3 mostra a proporção relativa do período de permanência dos sistemas atmosféricos em Juiz de Fora – MG.

Tabela 3. FREQUÊNCIA E PERÍODO DE PERMANÊNCIA DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS

EM JUIZ DE FORA – MG

FREQUÊNCIA E PERÍODO DE PERMANÊNCIA DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS EM JUIZ DE FORA NO INVERNO DE 2004						
HORAS	**DIAS**	**FF**	**mPa**	**mPv**	**mTa**	**IT**
0 |------- 48	**0 |------- 2**	87,5%	71,4%	51,4%	42,7%	100,0%
49 |------- 97	**2 |------- 4**	12,5%	14,3%	28,6%	14,3%	0,0%
98 |------- 146	**4 |------- 6**	0,0%	0,0%	14,3%	14,3%	0,0%
147 |------- 195	**6 |------- 8**	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%
196 |------- 244	**8 |------- 10**	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
245 |------- 293	**10 |------- 12**	0,0%	0,0%	0,0%	28,6%	0,0%

Em relação às frentes frias e às massa de ar polar, a maior parte desses sistemas apresentaram período de permanência de até 2 dias, demonstrando ser perturbações de curta duração na cidade. No mês de julho, entre os dias 05/07 a 11/07, essa configuração foi bastante evidenciada através das significativas alterações dos sistemas atmosféricos que atuaram no município, registrando desde a passagem de três frentes frias até a atuação por três vezes da massa de ar tropical atlântica. A temperatura máxima nesse período foi de 20,0°C e 29,5°C, nos dias 09/07 e 10/07, respectivamente, na Estação Nossa Senhora Aparecida. No dia 11/07, a temperatura máxima voltou a cair para 20,0°C após a incursão de uma nova frente fria. Quanto às massas de ar polar velha, seu período de permanência predominante foi de curta duração, atuando na cidade, em 80% de sua freqüência até 4 dias.

As linhas de instabilidade corresponderam ao sistema que menos permaneceu no município, sendo que em todas suas freqüências, estas duraram até seis horas. Portanto se caracterizou como perturbações atmosféricas de curta duração, ocorrendo, sobretudo à tarde e início da noite, ocasionando precipitações (26,0 mm na Estação do Caeté no dia 02/08), rajadas de vento, e por vezes trovoadas.

A tabela abaixo mostra algumas características dos sistemas frontais que alcançaram a cidade.

Tabela 4. Caracterização dos sistemas frontais

Caracterização dos sistemas frontais em Juiz de Fora - MG Inverno de 2004	
VELOCIDADE MÉDIA	26,07 Km/h
VELOCIDADE MÉDIA MÁXIMA	57,7 Km/h
VELOCIDADE MÉDIA MÍNIMA	12,5 km/h
INTERVALO MÉDIO	9,2 dias
MAIOR INTERVALO	24 dias
MENOR INTERVALO	1 dia
DESVIO PADRÃO - VELOCIDADE MÉDIA	14,20 Km/h
DESVIO PADRÃO - INTERVALO DE DIAS	8,77 dias

A velocidade média das frentes polar atlântica até alcançar o município foi de 26,07 Km/h. O sistema frontal que se deslocou mais rapidamente até chegar na cidade alcançou velocidade média de 57,7 km/h e permaneceu no município num máximo de 6 horas, na manhã do dia 11/07, quando provocou poucas chuvas - 0,4 mm - e ventos do quadrante sul de magnitude de 5,0 m/s na Estação Climatológica Principal às 1200Z. A perturbação proveniente de sul mais lenta esteve associada a uma ondulação frontal que ocorreu no litoral do estado de São Paulo e interagiu na retaguarda de um cavado que se estendia do Mato Grosso do Sul até o Rio Grande do Sul. Sua velocidade média foi de 12,5 Km/h, até passar pelo município no dia 03/06.

Para melhor caracterizar o comportamento das velocidades média dos 8 sistemas frontais que alcançaram o município, foi calculado o desvio padrão, que mostra quanto os elementos de uma série se desviou da média aritmética. Os valores obtidos demonstraram que o desvio padrão para o intervalo de dias sem frentes foi de 8,77 dias. Esses resultados indicaram ampla variabilidade entre os elementos do conjunto de dados do intervalo de tempo sem frentes frias, apontando a ocorrência desde intervalos curtos de até 1 dia, observado tipicamente no mês julho, até 18 dias, quando ocorreu maior período de estiagem, sobretudo no mês de agosto, quando houve a massa de ar tropical atlântica atuou em 67% do mês.

A velocidade média das frentes apresentou desvio padrão de 14,2 Km/h, o que demonstrou bastante variabilidade em relação à média, sendo observado desde perturbações que deslocaram com velocidade média de 12,0 Km/h até sistemas frontais que atingiram velocidade média superior a 40,0 Km/h. Inclusive, a ocorrência de um único episódio de granizo no inverno, incomum nesta época do ano, na madrugada do dia 01/06, esteve relacionado ao deslocamento de uma ondulação frontal que se formou no litoral dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e se deslocou com velocidade média de 43,0 Km/h, quando provocou intensa turbulência atmosférica, precipitação intensa e forte rajadas de vento, causando transtornos à população citadina.

Portanto a característica geral dos sistemas frontais que passaram pela cidade no inverno de 2004 foi de grande variabilidade, tanto com relação à velocidade média quanto ao intervalo de tempo sem a passagem das frentes, sendo este último ainda mais variável. No mês de julho esses intervalos de tempo foram os menores, enquanto em agosto foram os mais prolongados.

Com relação às frentes frias que ingressaram pela Região Sul do país, 50% desses sistemas alcançaram o município e os outros 50% foram desviados e/ou evoluíram para frontólises no Oceano Atlântico no litoral das Regiões Sul e Sudeste, demonstrando o caráter transitório da posição geográfica da cidade, entre os climas quentes das latitudes baixas e o subtropical da região Sul do país.

A tabela 5 procurou relacionar a freqüência de atuação dos sistemas atmosféricos e a ocorrência de nevoeiros e inversões térmicas na área urbana de Juiz de Fora.

Tabela 5. DISTRIBUIÇÃO DA OCORRÊNCIA DAS MASSAS DE AR PELA MANHÃ

E FENÔMENOS ASSOCIADOS

DISTRIBUIÇÃO DA OCORRÊNCIA DAS MASSAS DE AR PELA MANHA					
E FENOMENOS ASSOCIADOS NO INVERNO DE 2004 - JUIZ DE FORA - MG					
Sistemas	Manhã	Nevoeiro [1]	Inversões Térmicas °C [2]		
			Freqüência	Média	Extrema
mTa	**42**	**12**	**17**	**0,87**	**2,1**
mPa	**21**	**4**	**2**	**1,6**	**1,7**
mPv	**15**	**5**	**7**	**1,02**	**2,0**
FF	**7**	**3**	**0**	**0**	**0**
Total	**85**	**24**	**26**	**1,16**	*

[1] Nevoeiros ocorridos na área urbana

[2] Dados analisados a partir da Estação Climatológica Principal (ECP) localizada na parte alta da cidade a 940 metros de altitude e a Estação Nossa Senhora Aparecida (ENSA) situada no fundo do vale a 753 metros de altitude

Os nevoeiros sempre caracterizam uma condição de aumento nos riscos de acidentes principalmente aos transportes terrestres e a navegação marítima e aérea, exatamente por causarem redução da visibilidade. São nocivos a agricultura, na medida em que a sua

presença assegura condições de umidade elevada, muito favoráveis ao desenvolvimento de certos patógenos. Em áreas industriais pode representar grandes riscos a saúde, ou mesmo a vida, pelo fato de estarem contaminados com resíduos tóxicos. Por essas razões torna-se interessante conhecer as suas proporções de ocorrência sobre os diferentes sistemas atmosféricos.

A massa de ar Tropical Atlântica foi o sistema de ar que mais atuou nas manhãs do inverno de 2004 em Juiz de Fora, 42 dias. A figura 2 mostra um típico nevoeiro de fundo de vale, muito comum sobre a atuação da mTa.

Foto: Renan Tristão

Figura: 2 Ocorrência de nevoeiro na área urbana de Juiz de Fora – MG sobre atuação da massa de ar Tropical Atlântica

Essa massa de ar foi a que mais registrou nevoeiros e inversões térmicas. Cerca de 50% dos nevoeiros e 65% das inversões térmicas ocorreram sobre a atuação da mTa. De fato a atuação do anticiclone semifixo do Atlântico é responsável pela maior ocorrência de ventos do quadrante nordeste e leste na cidade. A proximidade do município em relação ao litoral (efeito da maritimidade), faz com que sobre a atuação do anticiclone da mTa, que diverge ventos úmidos em direção ao continente contribui para o acréscimo de umidade nas áreas costeiras, induzindo, em noites de céu claro a ocorrência de nevoeiros de radiação. Sendo a baixa nebulosidade noturna uma das pré-condições para a ocorrência de nevoeiros, em 56,4% das noites em que esse sistema atuou as condições de tempo foi de baixa nebulosidade (0-3/10), o que em parte explica a elevada ocorrência de nevoeiros sob a atuação desse sistema.

A maior diferença de temperatura das camadas de inversão ocorreu no interior da massa de ar Tropical Atlântica no dia 22/06, 2,1°C.

Mesmo com a mPa apresentando um maior número de atuações (21 dias) em relação a mPv (15 dias) durante as manhãs, o número de nevoeiros e inversões térmicas provocados por esse sistema em Juiz de Fora, foi menor do que quando sob a atuação da mPv. Em parte, esse fato pode ser explicado devido a permanência de tempo nebuloso mesmo após a passagem dos sistemas frontais, com a invasão da mPa, cujo anti-ciclone migratório ao afastar em direção ao oceano, faz aumentar a atividade marítima, através dos ventos, de quadrante sul, sudeste e por vezes leste, úmidos, que, a barlavento da Serra da Mantiqueira condensam formando nuvens baixas, que se deslocam em direção ao continente, ocasionando tempo com marcante variação de nebulosidade, as vezes de 1 a 3 dias nublado, principalmente nas áreas costeiras. (SANTOS & SANTOS, 2005). Sobre essas condições de tempo o fluxo de radiação perdida para o espaço passa a ser minimizado, havendo maior armazenamento de energia na atmosfera o que impede a queda acentuada da temperatura mínima, dificultando a ocorrência das inversões térmicas e nevoeiros de radiação. Ainda a baixa umidade no interior da mPa faz com que o ponto de orvalho decresça significativamente, que em meio a condição de elevada nebulosidade, principalmente, inibe a formação de nevoeiros no município.

Os resultados apresentados foram referentes a uma caracterização das massas de ar que atuaram na cidade no inverno de 2004, quando as condições globais apontaram para uma neutralidade do fenômeno ENOS. Contudo, os estudos continuamente vêm sendo realizados pelo Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora a fim de poder se adquirir maior volume de dados com intuito de aperfeiçoar os conhecimentos acerca da climatologia das massas de ar e suas repercussões no município e na região para o melhor aproveitamento dos recursos econômicos no que tange ao planejamento urbano, agrícola e atividades como o turismo e geração de energia, muito susceptíveis às variações do tempo e do clima.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia.** Ed. Hucitec, 1981.

ELHAI, H. **Biogeógraphie.** Paris: Ed. Armand, 1968.

GEDZELMAN, S. D. Atmosferic Circulation Systems. IN: **Handbook of Applied Meteorology.** New York: (Ed. D. D. Hougton). John Wiley & Sons, 1985.

MACHADO, P. J. de O. **Climatologia**. Juiz de Fora: UFJF, julho de 2000.

MARTINS, L. A. **A temperatura do ar em Juiz de Fora - MG: influências do sítio e da estrutura urbana.** Rio Claro: UNESP/IGCE, 1996. Dissertação de mestrado.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo.** São Paulo, Instituto de Geografia da USP, 1973.

MONTEIRO, C. A. de F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul -oriental do Brasil.** São Paulo, Instituto de Geografia da USP. Série Teses e Monografias n° 1, 1969.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NIMER, E. Circulação atmosférica do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia,** Rio de Janeiro: IBGE, n. 3, 1966.

NIMER, E. Climatologia das Regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia,** Rio de Janeiro: IBGE, 1971.

PHILANDER, S. G. El Niño. **Oceanus.** San Diego: Academic San Diego, 1992.

REIS, E. A. & REIS, I. A. **Análise descritiva de dados: Síntese Numérica.** Belo Horizonte: UFMG, 2002.

SANTOS, E. O. & SANTOS, T.O. **Relatórios semanais do tempo em Juiz de Fora - MG.** Disponível no site www. labcaa.ufjf.br do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental da UFJF. Juiz de Fora, junho a agosto de 2004.

SANTOS, E. O. , SANTOS, T.O. & MENDES, D. Urbanização e alterações microclimáticas em Juiz de Fora - MG. IN: 11° SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, Aracaju. **CD-ROM do 11° Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica.** Aracaju, 2004.

SARACHIK, E. S. Climate prediction and the ocean. **Oceanus.** San Diego: Academic San Diego, 1992.

SERRA, A. Climatologia da América do Sul. IN: CLIMATOLOGIA DO BRASIL. **Boletim Geográfico,** Rio de Janeiro, n. 33, abril/ junho 1975.

STAICO, J. **A bacia do rio Paraibuna em Juiz de Fora - MG.** Juiz de Fora: UFJF, 1977.

TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva - Fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1984.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, Gráfica e Editora PAX, 2001.

VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: Imprensa Universitária de Viçosa, 1991.

www.cptec.inpe.br

www.dhn.mar.mil.br

www.inmet.gov.br